ALGUMAS CONSIDERAÇÕES ACERCA DA APLICABILIDADE DE FOTOGRAFIAS AÉREAS DIGITAIS DE PEQUENO FORMATO OBTIDAS POR AEROMODELO DO PROJETO A.R.A.R.A. AO MAPEAMENTO DE USO E COBERTURA DA TERRA

George Alfredo LONGHITANO[1]
Ailton LUCHIARI[2]
Onofre TRINDADE JUNIOR[3]

RESUMO

O acesso às imagens e aos dados gerados por sensoriamento remoto muitas vezes é dificultado devido ao custo dessas informações ser relativamente elevado. Custo ainda maior dependendo do nível e natureza de informações que o pesquisador ou profissional deseja obter da área e do tamanho desta.

Nesse sentido, o Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo, Campus São Carlos, vem desenvolvendo em parceria científica com a Embrapa, o Projeto A.R.A.R.A. (Aeronaves de Reconhecimento Assistidas por Rádio e Autônomas) que minimiza o custo da geração de fotografias aéreas em pequenas áreas e facilita o acesso a elas.

Trata-se da construção de aeromodelos equipados com modernos aparelhos e sistemas. Entre eles, microcomputador de bordo, câmara fotográfica digital, câmara de vídeo, GPS (Global Position System), altímetro e sistema de nivelamento. Estes permitem capacidade de vôo, funções autônomas ou programadas de reconhecimento e obtenção de dados e imagens.

Por levar a bordo uma câmara fotográfica digital de pequeno formato, este sistema sensor se apresenta como alternativa para fins de trabalhos interpretativos, onde não existe grande exigência de qualidade geométrica e o mais importante é a extração de informações das imagens, como, por exemplo, em mapeamentos temáticos.

O presente trabalho visa apresentar os equipamentos desenvolvidos pelo Projeto A.R.A.R.A., efetuar alguns testes para mapeamento de uso e cobertura da terra através de fotografias aéreas verticais geradas por este sistema sensor, permitindo, desta forma, tecer considerações acerca da aplicabilidade das imagens e apontar alguns potenciais de utilização em pesquisa geográfica.

Para isso, os parâmetros dos equipamentos e de imagens obtidas por esta nova tecnologia serão levantados e caracterizados e testes de mapeamento de uso e cobertura da terra através destes serão realizados.

Depois de obtidas as imagens, haverá tratamento digital e será feita fotointerpretação. Esta servirá de apoio posteriormente para a classificação supervisionada. As imagens serão georreferenciadas e corrigidas geometricamente através de pontos de controle retirados de cartas topográficas 1:10000 de 1978 do IGC e, se necessário, também coletados em campo. As imagens serão mosaicadas e será realizada classificação supervisionada, objetivando a elaboração de uma carta de uso e cobertura da terra demonstrativa.

[1]Aluno do 3º ano de graduação em Geografia – FFLCH - USP
[2] Professor Dr. do Departamento de Geografia – FFLCH – USP
[3] Professor Dr. do Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação – USP - Campus São Carlos

O software *ILWIS* será utilizado para o processamento das imagens e elaboração da carta demonstrativa de uso e cobertura da terra.

A pesquisa ainda está em andamento, mas já é possível afirmar que, considerando-se que o custo para a obtenção das imagens é muito menor do que de fotografias aéreas convencionais e imagens orbitais, esta nova tecnologia apresenta grande potencial de uso para pequenas áreas e fins não exijam grande precisão geométrica.

INTRODUÇÃO

O presente trabalho é parte inicial de uma pesquisa de iniciação científica, com bolsa cedida pelo CNPQ. Nesta, está previsto o mapeamento de uso e cobertura da terra de uma área de aproximadamente 10 km^2 através de fotografias aéreas verticais digitais obtidas por aeromodelo do Projeto A.R.A.R.A.. Pretende-se estudar as vantagens em relação às geradas por aerofotogrametria convencional e imagens de satélites, assim como suas limitações, permitindo possíveis contribuições com sugestões para a melhoria e adequação técnica dos equipamentos.

Por levar a bordo uma câmara fotográfica digital de pequeno formato, este sistema sensor se apresenta como alternativa para fins de trabalhos interpretativos, onde não existe grande exigência de qualidade geométrica e o mais importante é a extração de informações das imagens, como, por exemplo, em mapeamentos temáticos.

Escolheu-se efetuar um mapeamento de uso e cobertura da terra por entender-se que este é um recurso imprescindível para o estudo de uma dada região. Fornece base para o planejamento territorial, serve de subsídio para a análise têmporo-espacial dos elementos e processos geográficos, apresenta facilidade de visualização e interpretação. É capaz de integrar de modo sintético vários dados e informações dos elementos constituintes da paisagem, e “qualquer que seja a organização espacial do uso da terra em um período, raramente é permanente. Deste modo, há necessidade de atualização constante (...) para que suas tendências sejam analisadas” (SANTOS ; LOMBARDO, 1980).

Em função dos equipamentos terem sido recém desenvolvidos e ainda estarem em fase de aprimoramento, ainda não existe estudo de sua aplicabilidade às modalidades geográficas e considerando-se que, “Na realidade, nada é tão geográfico quanto a fotografia aérea, desde que se considere a Geografia como estudo sintético dos fatos da paisagem e das relações de seus multivariados constituintes” (ALMEIDA, 1978), é de grande relevância essa pesquisa por introduzir o seu uso na Geografia. Por enquanto, o sistema foi empregado apenas em projetos pilotos, ligados principalmente à agricultura e usando apenas uma foto por vez, para aplicações baseadas em amostragens.

Neste texto será apresentado o Projeto A.R.A.R.A. e os equipamentos desenvolvidos por este. Testes de mapeamento de uso e cobertura da terra realizados com fotografias aéreas verticais geradas por este sistema sensor serão descritos, e algumas considerações acerca da aplicabilidade das imagens expostas. Potenciais de utilização em pesquisa geográfica foram levantados a partir desses e se encontram no final.

APRESENTAÇÃO do PROJETO A.R.A.R.A.

O Projeto A.R.A.R.A. (Aeronaves de Reconhecimento Assistidas por Rádio e Autônomas) é desenvolvido no Laboratório de Computação de Alto Desempenho do Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo, campus São Carlos, em parceria com a EMBRAPA, sob responsabilidade do Professor Dr. Onofre Trindade Júnior.

Está centrado na pesquisa de desenvolvimento de UAV´s (*Unmanned Aerial Vehicle*) e no estudo em diversas aplicações, principalmente ligadas à agricultura de precisão até o

momento. Testes foram realizados para contagem de árvores em determinadas áreas, detecção de pragas, doenças, stress hídrico e falhas em lavouras.

Teve início há mais de sete anos e foi dividido em quatro fases:

Fase 1 – Uma câmara fotográfica digital foi acoplada a um aeromodelo convencional (SOUZA, 1999), sendo disparada em solo através de um equipamento de rádio-controle. Alguns parâmentros referentes ao equipamento e condições de vôo foram definidos experimentalmente para a obtenção de imagens com qualidade adequada às aplicações iniciais.

Fase 2 – Foi realizado o projeto e construção de uma aeronave própria para o projeto (RIBEIRO, 2000). Diversos sensores foram embarcados para controle de vôo e aquisição de dados. Dentre eles: GPS, altímetro, velocímetro, horizonte artificial, sensor de rotação do motor e nível do combustível. Foram acopladas duas câmaras, uma fotográfica digital e outra de vídeo. A primeira serve para a aquisição das imagens e a segunda, situada na frente da aeronave, serve para a pilotagem. As imagens são transmitidas ao computador da base móvel em solo, permitindo que o piloto possa acompanhar e controlar a aeronave fora do alcance da vista. Foi desenvolvido o programa STT (Sistema de Telemetria e Telecomando do Projeto A.R.A.R.A.) que possibilita a visualização das imagens geradas pelas câmaras e os dados enviados pelos sensores a bordo da aeronave na tela do computador, conforme ilustra a figura 1. As condições de pilotagem do vôo são semelhantes a aquelas encontradas em jogos simuladores de vôo, como por exemplo o *Flight Simulator* da *Microsoft*. O piloto pode acionar a câmara fotográfica ou ainda um gravador de vídeo.

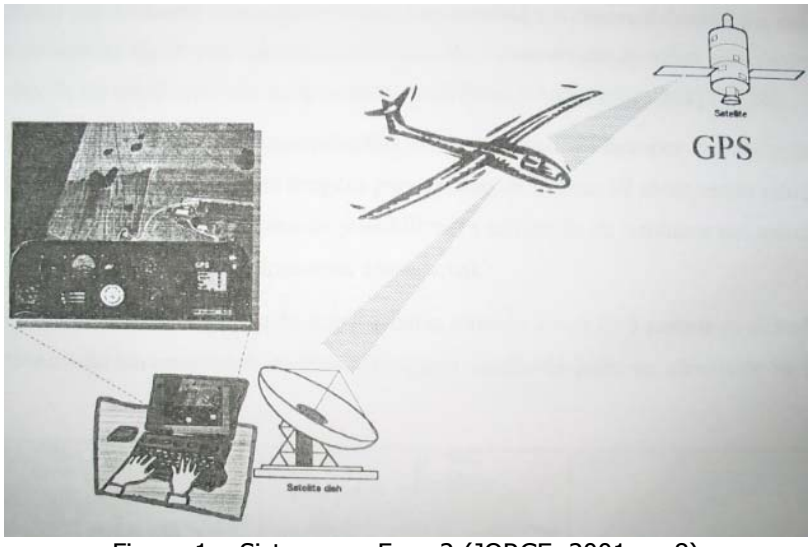

Figura 1 – Sistema na Fase 2 (JORGE, 2001, p. 8)

Fase 3 – É a atual fase do projeto. Os equipamentos são basicamente os mesmos da fase 2. A principal diferença está no software desenvolvido e empregado para realizar operações autônomas. O software foi dividido em dois módulos. O SINACOM (Sistema de Navegação e Controle de Manobras) e o SECAV (Sistema de Estabilidade e Controle Automático de Vôo). Desta forma, é possível que o usuário programe através do SINACOM a rota de vôo e tarefas, como fotografar e/ou filmar certa área. A aeronave acompanha uma faixa de vôo pré-determinada, a qual pode ser visualizada na tela do computador, e quando está corretamente posicionada, dentro de uma margem de erro, obtem as imagens. Após cumprida a missão, retorna e fica sobrevoando a base até ser efetuado o seu pouso assistido por rádio-controle. É possível ainda disparar um pára-quedas para a realização do pouso, ou em casos de emergência, quando perde-se o controle da aeronave, haja algum problema, ou ainda, acabe o combustível. Nestes últimos casos, isto ocorre de forma automática.

Para decolagem, a aeronave foi equipada com um sistema de lançamento de cima de um automóvel. O aeromodelo é acoplado a um suporte em cima do veículo e quando este atinge cerca de 60km/h, momento em que há força suficiente devido à aerodinâmica, ocorre a decolagem automaticamente. Este sistema permite o lançamento, de maneira segura, de qualquer pista que haja condições de um veículo atingir 60km/h, mesmo estando esta com buracos. Foi acoplado um GPS de precisão de 5m, melhor que o anterior.

Fase 4 – Fase a ser implantada, ainda em desenvolvimento. Será embarcado um sistema de processamento de imagens, o que permitirá uma variedade de tarefas de monitoramento autônomas. Permitirá que o aeromodelo inspecione linhas de transmissão de energia, rios, estradas, ou efetue contagem de animais em uma determinada área e detecte áreas de desmatamento, por exemplo.

Parte dos softwares e equipamentos desenvolvidos estão em fase de patenteamento. A fabricação comercial do sistema da fase 2 está prevista para 2006/7.

A aeronave é capaz de levar qualquer sensor de até 3kg e de formato médio. Atualmente é empregada uma câmara reflex Canon EOS300D de 3000x2000 *pixels* (6 *megapixels*). *Pixel* é o menor elemento de uma imagem (TEIXEIRA; CHRISTOFOLETTI, 1997). O sensor é do tipo CCD de 35mm. Há a capacidade de colocar filtros nas lentes desta câmara, o que é útil para algumas aplicações.

As imagens geradas por esta câmara são coloridas e apresentam resolução radiométrica de 24 bits, pois são baseadas no sistema RGB(*Red, Green, Blue*) de representação de cores, em que os pixels apresentam três matrizes, uma para o vermelho, outra para o verde e outra para o azul. Considerando-se que cada uma delas possua 8 bits de memória, significa que tem-se 3x8 bits = 24 bits por *pixel*, logo 2^{24} = 16777216 variações possíveis de cores. O formato do arquivo gerado é o JPEG (*Joint Photographic Experts Group*), que relativamente a outros formatos, possui tamanho compacto.

É plenamente possível a visão estereoscópica a partir dessas fotografias, único requisito é o recobrimento entre elas.

São produzidas as seguintes informações das imagens: altura, direção e as coordendas do ponto de onde foram obtidas. Também a data e horário são registrados. A inclinação da aeronave seria um dado útil, mas por enquanto, devido às aplicações em que foi empregado, o sistema não apresenta equipamentos ábeis a gerar esta informação.

A aeronave possui, atualmente, autonomia de vôo de 7 horas. O alcance do rádio-controle é de 10km, entretanto, esta não é mais uma característica muito importante, devido a capacidade autônoma de vôo e obtenção de dados de acordo com instruções pré-programadas.

Normalmente, pelo fato de as missões de aquisição de imagens serem realizadas para fins de usos em projetos pilotos na agricultura, baseados em coleta de amostras do terreno, os vôos são efetuados a alturas baixas, não maiores que 500m. O mais comum é a 100m. Com isso as nuvens são evitadas também. Mas, para o objetivo da pesquisa de iniciação científica, que consiste no mapeamento de uso e cobertura da terra de uma área relativamente grande comparada às aplicações anteriores, é interessante que as fotografias abrajam a maior área possível, portanto, que as missões sejam realizadas na maior altura possível. Deste modo, o efeito de distorções provocadas pelo relevo também são atenuados. Pretende-se que as fotografias sejam obtidas a pelo menos 1000m de altura.

A aeronave pode atingir até mais de 2500m de altura (valor obtido em testes) e a menor distância focal para a câmara é de 35mm. Isto significa que para uma altitude de 2500m, a área coberta por uma fotografia gerada por este sistema sensor é de 2500x1666m = 4165000m^2 ou 416,5 hectares. O pixel abrangeria cerca de 83x83cm do solo. É uma resolução espacial boa, já que esta seria a menor resolução espacial possível para este sistema sensor. Os satélites de maior resolução de uso civil hoje sâo o Quickbird (cerca de

60x60cm) e o Spot (cerca de 100x100cm), cujos os preços das imagens apesar do barateamento, ainda são caras e proibitivas para certos usos. É importante ressaltar que, cada vez mais as câmaras digitais apresentam resolução maior e estão se tornando mais baratas, sendo possível trocar a câmara embarcada na aeronave e melhorar sua resolução espacial.

Mas comparadas com fotografias aéreas convencionais, percebe-se o problema da área de recobrimento ser relativamente pequena.

Uma fotografia aérea convencional com escala de 1:25000, considerando-se que o negativo possui 230x230mm (mesmo tamanho da foto), cobre uma área de 5750x5750m = 33062500m^2, ou 3306,25 hectares. É uma área quase 8 vezes maior em relação ao valor máximo possível para as obtidas através do A.R.A.R.A.. Entretanto, um avião em uma missão aerofotogramétrica é capaz de voar mais alto e as câmaras podem ter variáveis distâncias focais. Logo, é possível cobrir uma área bem maior que a apresentada. Isto significa, que as imagens obtidas através das câmaras digitais de pequeno formato cobrem uma área muito menor do que as câmaras aerofotogramétricas, mesmo possuindo distância focal menor, pois as segundas utilizam filmes de 230x230mm.

Para uma comparação correta, deve ser avaliada a qualidade das imagens. Dessa forma tem-se uma idéia melhor.

Um filme fotográfico comum tem aproximadamente 210 *pixels* por milímetro. Em um negativo 230x230mm, há cerca de 2333 *megapixels*. Considerando-se que câmeras digitais de pequeno formato hoje possuem no máximo 14 *megapixels*, chega-se à relação de que em um negativo de câmeras aerofotogramétricas há 167 vezes mais *pixels* (SANTOS; 2004). Em outras palavras, para um mesmo tamanho de pixel em solo, elas cobrem áreas 167 vezes maior do que as melhores câmeras digitais de pequeno formato da atualidade. Seria necessário 167 fotografias, sem levar em conta que para mosaicamento delas, ou visão estereoscópica, elas deveriam ter ainda recobrimento entre elas.

Uma ortorretificação baseada em pontos de controle seria muito trabalhosa para áreas muito grandes que exijam alta resolução espacial.

Com certeza, este é um dos principais fatores limitantes para o uso da fotografia digital de pequeno formato. Fica clara a importância das técnicas de mosaicamento, georreferenciamento e correção geométrica para a aplicação deste tipo de imagens em áreas maiores, pois estas influenciariam fortemente no tempo de execução de um mapeamento e na qualidade geométrica do produto final.

TESTES de MAPEAMENTO de USO e COBERTURA da TERRA – MÉTODOS e TÉCNICAS

Segundo Raffo, 2000, “para obtenção de dados destinados a representar a superfície da Terra, existem basicamente duas metodologias: a medição do próprio espaço in-situ e a medição do espaço de forma indireta”. Este trabalho preocupa-se com o levantamento indireto da superfície terrestre através do método fotogramétrico.

“Tratando-se de mapas, é quase que inviável falar em sua elaboração, sem usar a fotogrametria” e “a fotogrametria, tendo uma visão panorâmica, dá condições ao fotogrametrista de obter os elementos de interesse de uma vista aérea, em pouco tempo, comparando-o com os métodos de campo” (LOCH ; LAPOLLI 1998).

Os testes realizados visaram verificar a compatibilidade das fotografias aéreas digitais verticais obtidas através de aeromodelo do Projeto A.R.A.R.A. com o sistema de informações geográficas *ILWIS*, e a capacidade do mesmo de processá-las digitalmente. O processamento digital “trata especificamente das técnicas utilizadas para identificar, extrair,

condensar e realçar a informação de interesse para determinados fins, a partir de uma enorme quantidade de dados que usualmente compõem essas imagens" (CRÓSTA, 1992).

Para isso, foram classificadas, por método supervisionado e não-supervisionado, duas áreas, gerando duas cartas demonstrativas de uso e cobertura da terra.

Foram utilizadas imagens de áreas pertencentes à Aracruz S.A., próximas à São Carlos, obtidas em novembro de 2004 através dos equipamentos do Projeto A.R.A.R.A.. Mais precisamente, as de número 1515 e 1516 para a confecção do mosaico 1 e 1523 e 1524 para o mosaico 2.

As áreas foram selecionadas de acordo com o grau de recobrimento entre elas e conforme a variedade de classes de uso e cobertura da terra. Escolheu-se 2 áreas para dar maior suporte e mais exemplos aos testes.

As fotografias foram obtidas a cerca de 500m de altura com distância focal de 35mm.

Cada imagem abrange, portanto, uma área de aproximadamente 500x340m, ou 17hectares. O tamanho do *pixel* no solo é de cerca de 17cm.

O mosaicamento das imagens foi realizado através do software *Canon PhotoStich*.

Para o tratamento e classificação das imagens foi empregado o software *ILWIS 3.2 Academic.*

As imagens apresentam grande distorção geométrica radial, onde quanto mais distante do centro, maior é a distorção. Isto pode ser visto pela disposição dos troncos de eucalipto na figura 2.

Mosaico da área teste 1

Figura 2 – mosaico da área teste 1 realizado através do *Canon PhotoStich*

A área teste 1, possui a maior parte ocupada por eucalipto, com uma várzea à esquerda e canais de irrigação. Cortam a área, uma estrada de terra e uma linha de transmissão, que pode ser identificada como uma faixa com vegetação de campo sujo. A parte superior da imagem apresenta alguns trechos de mata capoeira.

A área teste 2 apresenta em sua maior parte, uma área de várzea, com um canal cortando o meio. A vegetação é composta de gramíneas, campo sujo, capoeira e eucalipto.

Ambas imagens demonstram que houve incêndio a algum tempo atrás em certas partes, com parcela da vegetação queimada ou seca, o que pode ser identificado por áreas de eucalipto e mata que estão sem folhagens e dossel.

Devido ao fato do curto período de tempo de execução deste trabalho, e principalmente por causa das características das imagens obtidas, não foi possível georreferenciar ou ainda corrigir geométricamente as imagens, conforme previsto no resumo enviado ao simpósio.

As imagens foram geradas em uma missão experimental de implementação de um equipamento, portanto, sem padrão de recobrimento e parâmetros adequados, como inclinação da aeronave excessiva em algumas fotografias. No dia da missão, o tempo estava parcialmente nublado, o que gerou imagens com descontinuidades de tonalidade, devido à sombra das nuvens. O que se evidencia em ambos os mosaicos. Entretanto, foi com que se pode trabalhar nestes testes. Por isso, o mosaicamento foi realizado através de um software de tratamento de fotografias digitais convencionais, e não de um SIG.

O mosaicamento é uma técnica muito utilizada em Sensoriamento Remoto para a junção de imagens que tenham continuidade espacial, formando imagens que abrangem áreas maiores. Para fotografias aéreas digitais de pequeno formato, esta técnica é ainda mais importante e útil, devido à área imageada ser muito menor do que a abrangida por fotografias aéreas convencionais ou imagens de satélite, como pode ser visto no item anterior.

Considerando-se que os SIGs, em geral, exigem muitos parâmetros, como vários pontos de controle em cada imagem para o georreferenciamento e posterior mosaicamento e, visto que, programas, como Canon PhotoStich (amplamente utilizados com o advento da fotografia digital), possuem capacidade de “emendar” fotografias com algumas opções e fácil operação, o mosaicamento por estes *softwares* pode ser uma alternativa.

No caso, o *Canon PhotoStich* foi aplicado para unir duas fotografias por mosaico, sendo que foram formados 2 mosaicos. Este programa se utiliza de semelhança de *pixels* entre as fotografias, para interpolar e reamostrá-los no mosaico a ser gerado.

Optou-se, no menu do referido programa, *Merge Settings,* por *Parallel Camera Movement*, como forma de aquisição das imagens, por ser o padrão mais adequado a esta aplicação. Escolhidas as fotografias e alinhadas, o programa as une de forma automática. Após a junção, a imagem não foi cortada, ficando com formato irregular.

A avaliação da qualidade geométrica, da resolução espacial e radiométrica, assim como de outros parâmetros referentes aos mosaicos gerados, seria de grande importância para a caracterização e análise do uso desta técnica, e pretende-se efetuá-las em um trabalho futuro. Pois, como afirmado, trata-se de um programa de fácil operação, que simplifica e agiliza o processo de confecção de mosaicos. Principalmente para fins que não exijam grande precisão geométrica ou até georreferenciamento, pode ser de grande serventia. A olho nu, os produtos obtidos apresentaram resultados muito bons, como pode ser visto nas figuras 2 e 3.

Os mosaicos produzidos foram transformados em formato TIFF (*Tagged Image File Format*), com finalidade de serem importados pelo *ILWIS*, que não reconhece o JPEG.

Após os arquivos terem sido importados pelo ILWIS, as imagens foram decompostas nas componentes vermelho, verde e azul, com objetivo de permitir composições coloridas diferentes, conforme a aplicação.

Mosaico da área teste 2

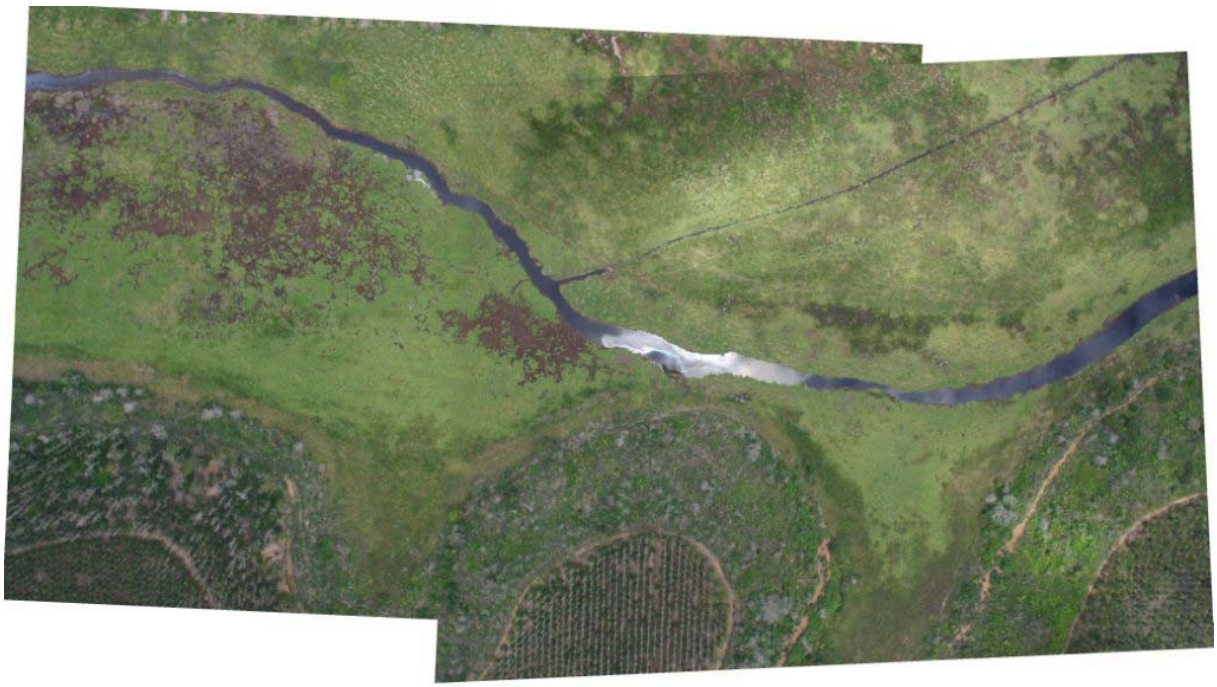

Figura 3 – mosaico da área teste 2 realizado através do *Canon PhotoStich*

Não couberam nesta pesquisa, visitas ao campo, que sempre são de enorme importância para o entendimento da área e confirmação dos elementos cartografados. Com isso, a fotointerpretação inicial que serviu de apoio para a classificação supervisionada das imagens, ficou comprometida. Por fotointerpretação entende-se como "a arte de examinar as imagens dos objetos nas fotografias e de deduzir a sua significação" (MARCHETTI ; GARCIA, 1977).

Outra etapa suprimida foi a normalização da tonalidade nas imagens. Este processo é muito importante para equalizar as tonalidades discrepantes entre as fotografias. Isto ocasiona problemas na classificação, pois pixels de diferentes intensidades de tons, algumas vezes fazem parte da mesma classe.

Pois, o que se pretende nestes testes, é a verificação da capacidade de se classificar as imagens, tendo em vista mais a técnica em si, do que as informações obtidas da área.

Logo, não foram coletados pontos de controle em campo, tão pouco através de cartas ou outras imagens já georreferenciadas. Desta forma, georrefenciou-se os mosaicos adotando-se limites e pontos de controle fictícios, unicamente porque o programa exige que para a classificação supervisionada de imagens, estas estejam georreferenciadas.

Foi produzida uma composição colorida, associando os filtros vermelho, verde e azul, respectivamente às bandas referentes a cada uma das faixas do espectro eletromagnético correspondentes às mesmas cores. Logo, a composição apresentou as cores reais da imagem. Esta foi utilizada para a classificação.

Efetuou-se a classificação supervisionada primeiro, coletando áreas de treinamento para cada classe identificada. O método aplicado foi o de *MaxLikehood*(máxima vero-semelhança).

Em seguida, para tornar a imagem mais homogênea, aplicou-se o filtro *Majority 3x3* na carta obtida. Trata-se de um filtro de baixa frequência (bassa-baixa) que gera imagens com *pixels* vizinhos sem grandes diferenças.

RESULTADOS

Carta demonstrativa de uso e cobertura da terra da área 1 - 2004

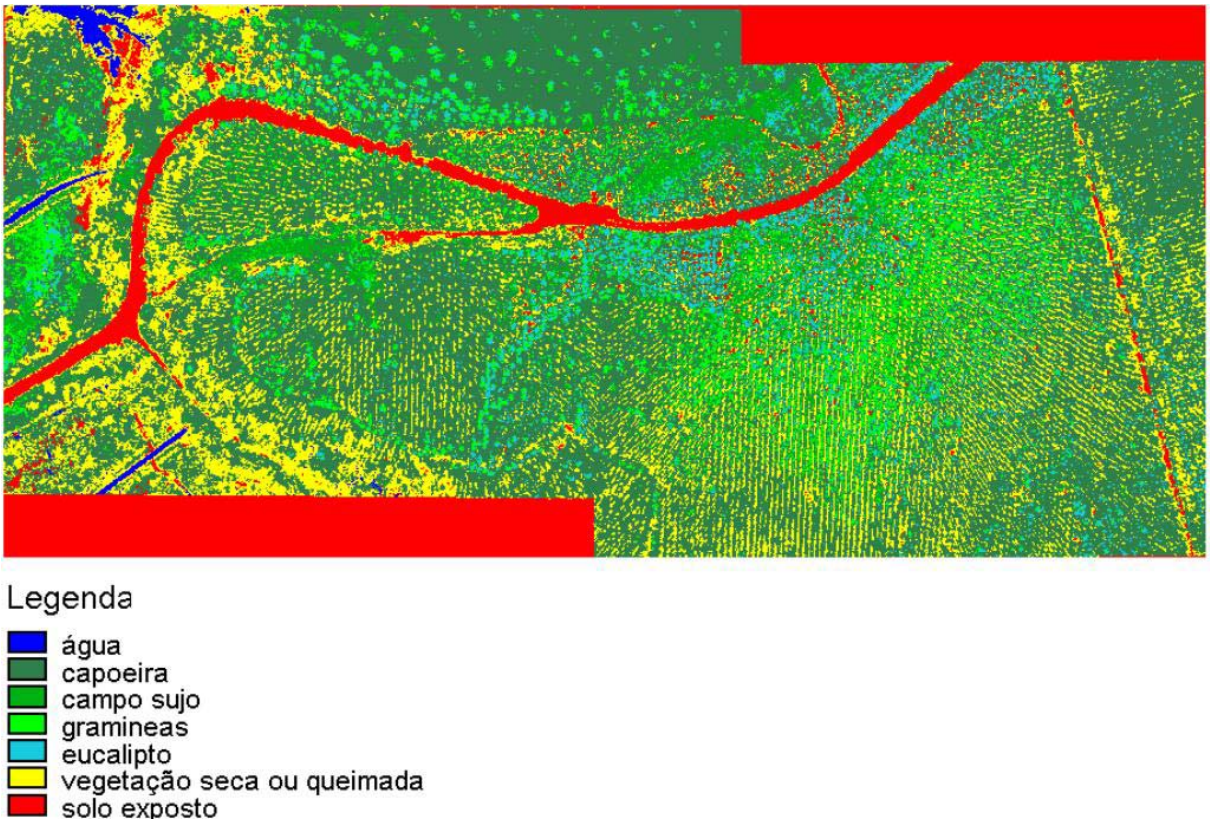

Figura 4 – classificação da imagem da área 1 obtida através de método supervisionado

Novamente é importante salientar a intenção dos testes em apenas experimentar as imagens em classificações através do *software ILWIS*, e não em produzir cartas fiéis de uso e cobertura da terra. Mesmo porque, com as restrições dos materias utilizados e de tempo, não seria possível. Por isso, estas cartas não apresentam orientação, localização e escala.

Os produtos foram cartas de uso e cobertura da terra com boa precisão na classificação, embora com algumas áreas de confusão, provalvelmente devido à diferença de tonalidades entre as imagens e entre áreas nubladas e ensolaradas e à fotointerpretação ter sido deficiente, por causas já explicitadas anteriormente. Os resultados foram satisfatórios, considerando-se as condições impostas a estes testes.

Na carta experimental da área 2, por exemplo, em sua área central houve confusão, com áreas do canal e encharcadas sendo classificadas como solo exposto. Isto ocorreu por causa da reflexão solar na água. O que demonstra mais uma vez que a missão de obtenção dessas fotografias foi realizada sem os parâmetros corretos.

Foi realizada também uma classificação não supervisionada (*cluster*), com a separação em 10 classes. Também apresentou resultados interessantes, mas piores que a classificação supervisionada, como o esperado. Não puderam ser colocadas as cartas demonstrativas produzidas por essa classificação no presente artigo, devido à restrição do tamanho do arquivo.

Carta demonstrativa de uso e cobertura da terra da área 2

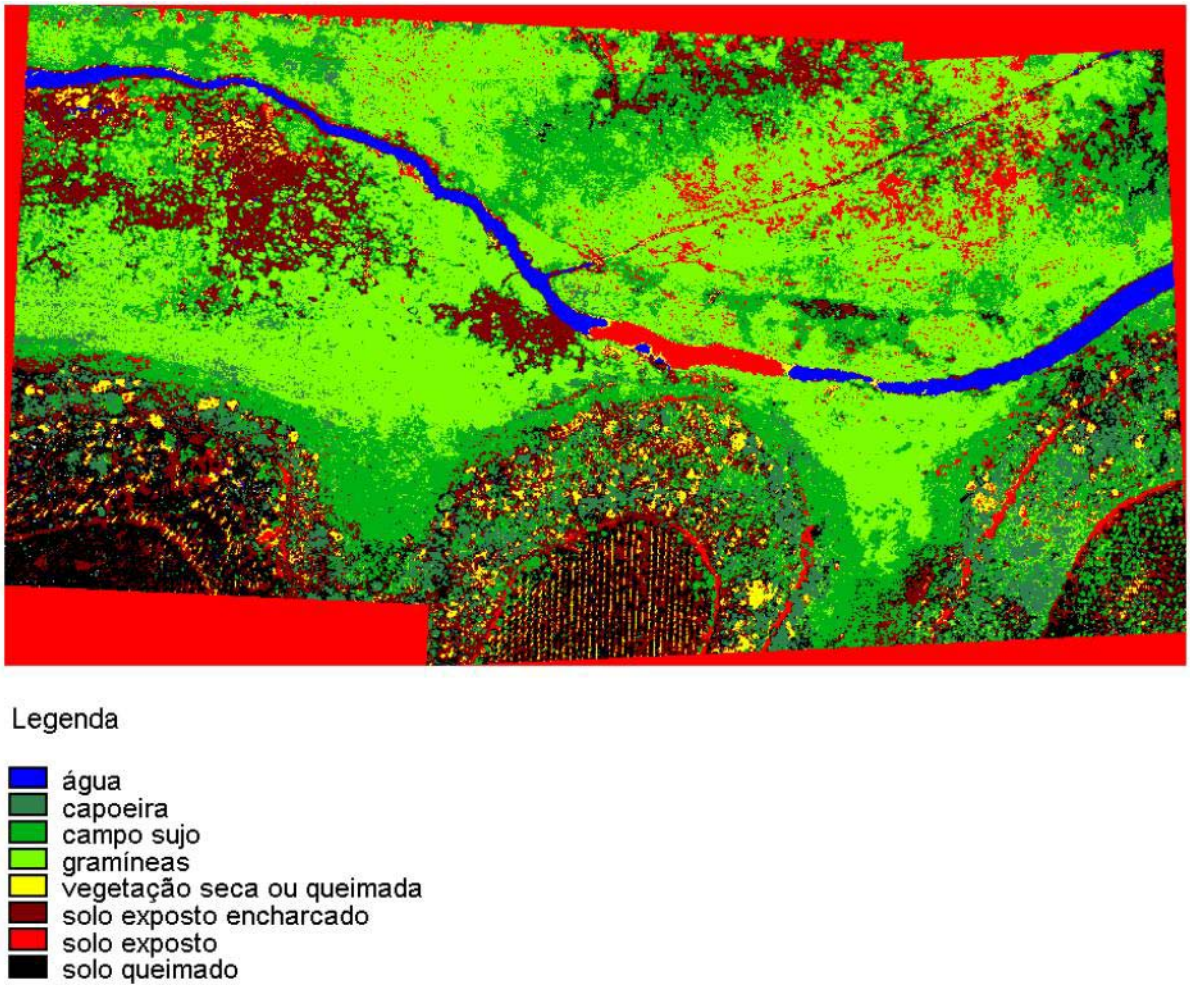

Figura 5 – classificação da área 2 através do método supervisionado

Os testes provaram que é plenamente possível tratar, processar e classificar as fotografias aéreas digitais de pequeno formato obtidas por aeromodelo do Projeto A.R.A.R.A., tal como imagens de satélite, ou ainda fotografias aéreas convencionais digitalizadas.

Fica pendente uma avaliação da qualidade geométrica que se pode obter através destas imagens, o que se pretende efetuar no desenvolver da pesquisa completa.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As características do sistema sensor aqui tratado, permitem afirmar que há um grande potencial de utilização destes em pesquisas e estudos geográficos.

As principais vantagens são:

- Diminuição dos custos de obtenção das imagens aéreas, o que pode ser afirmado considerando-se apenas que os valores de aquisição e operação dos equipamentos são substancialmente menores que os necessários para levantamentos aerofotogramétricos convencionais ou ainda o sensoriamento remoto de nível orbital. Obviamente que estas não são as únicas variáveis a serem contabilizadas, mas as principais certamente.

- Maior flexibilidade temporal que o sensoriamento remoto de nível orbital, ou realizado através da aerfotogrametria convencional, pois não necessita de dias

perfeitos para a realização de missões e não depende da órbita, como no caso do primeiro, ou de aeroportos, caso da aerofotogrametria convencional.

- As fotografias não necessitam de filmes, revelação e escaneamento, como as obtidas de forma analógica pela aerofotogrametria convencional, o que agiliza um trabalho que necessite de imagens aéreas.

- Podem ser efetuadas missões em condições adversas sem o risco de vida para o piloto e operador da câmara aerofotogramétrica. Inclusive em dias nublados, com vôos de baixa altitude, abaixo da camada de nuvens na atmosfera. Já foram feitos vôos com presença de ventos de 60km/h sem maiores problemas.

- Maior facilidade na incorporação de novas tecnologias, já que na aerofotogrametria convencional e no sensoriamento remoto de nível orbital, as mudanças requerem investimentos de ordem muito maior.

- Operação mais simples e ágil, com possibilidade inclusive de visão das imagens obtidas em tempo real.

- O trabalho de campo pode ser realizado juntamente com a missão aerofotogramétrica, com isto, é possível dar mais ênfase na captura de imagens de certas áreas de interesse, ou então, a partir das imagens vistas em tempo real, ir aos locais que chamem a atenção por algum aspecto.

Os principais fatores limitantes sâo que:

- O tamanho da área imageada por uma fotografia digital de pequeno formato é bem menor do que a imageada por câmeras aerofotogramétricas e sensores de satélites, necessitando de muito mais imagens para cobrir uma mesma área, além do moisacamento desta, sendo que esta característica torna o uso inadequado para certas aplicações.

- Há muito mais distorção geométrica em imagens obtidas nestas câmeras digitais de pequeno formato, do que as obtidas por câmeras métricas e sensores de satélites.

- A resolução espectral é bem menor se comparada com os sensores de satélites de recursos terrestres. Estes, normalmente possuem 7 bandas espectrais, enquanto que o CCD da câmera digital registra apenas as bandas RGB(vermelho, verde e azul). Com mais bandas são possíveis mais combinações delas para composição de imagens, e com isso, detecção de mais tipos de fenômenos geográficos e, consequentemente, maior range de aplicações.

- Embora mais flexível quanto à resolução temporal de uma mesma área, a locomoção do aeromodelo não se dá na mesma velocidade que a de um avião de porte normal ou que as das órbitas de satélites.

- A aeronave possui menor estabilidade quanto a processos atmosféricos por possuir massa reduzida, ficando mais sucetível a turbulências. Com isso há maior variação da angulação para a obtenção de fotografias aéreas, o que compromete a qualidade geométrica das imagens. Outro problema é que esta angulação não é medida na atual configuração dos equipamentos. Porém, esta inclinação em fotografias verticais não deve passar de 5^{o}, pois o aeromodelo leva a bordo um sistema de nivelamento ótico que utiliza o horizonte como referência. A vibração da aeronave causada pelo motor também é maior, o que necessita de altas velocidades do obturador da câmera.

- Um possível problema, é que a legislação não prevê o uso de aeromodelos em aerolevantamentos. Ou seja, talvez necessite de uma regularização para operação comercial, por utilizar o espaço aéreo.

Sobre os potencias de uso em pesquisa geográfica, pode-se afirmar que:

- Em trabalhos onde não existe grande exigência de qualidade geométrica e o mais importante é a extração de informações interpretativas das imagens, como em mapeamentos temáticos de pequenas áreas, o sistema sensor pode ser uma boa alternativa.

- Para aplicações que necessitem de grande resolução temporal, este sistema pode ser muito útil. Por exemplo: em estudos de maré; de movimentos de massa, logo após episódios de deslizamentos; de erosão, em seguida a episódios pluviométricos; etc.

- Pode servir também para atualização cartográfica de pequenas áreas, ou para mapeamento de regiões que tenham ficado encobertas por nuvens em fotografias aéreas ou imagens de satélites. Outra aplicação a ser testada, seria na fusão de imagens, com finalidade de dar maior resolução espacial a uma imagem de maior resolução espectral, por exemplo.

- Em reconhecimento de impactos ambientais, como desmatamentos e processos erosivos, os equipamentos desenvolvidos pelo projeto também deverão ser úteis, principalmente após concluída a fase 4, quando a aeronave será dotada de capacidade de processar as imagens em tempo real e monitorar de maneira autônoma diversas situações.

- As qualidades das imagens geradas também atendem ao propósito de caracterizações paisagísticas.

- Em áreas urbanas, para cadastro técnico, imobiliário, detecção de ocupações irregulares, etc, poderiam ser empregados os equipamentos com eficiência.

É importante destacar que, como afirmado anteriormente, este trabalho é apenas a parte inicial de uma pesquisa maior, necessita-se de uma melhor caracterização dos equipamentos e produtos gerados por este, assim como mais testes e um mapeamento de uma área maior com todos os parâmetros pré-definidos para a elaboração de uma carta de uso e cobertura da terra. Desta forma, a aplicabilidade das imagens geradas pelo Projeto A.R.A.R.A. poderá ser descrita e analisada de forma mais completa.

Pretende-se atingir os seguintes objetivos ao final da pesquisa completa: O mapeamento de uso e cobertura da terra de uma área de aproximadamente 10km^2 através de imagens geradas em uma missão previamente planejada para este fim.

Caracterização mais precisa do tamanho da área viável de ser levantada, assim como, parâmetros referentes às imagens, que são fatores condicionantes do potencial de uso da técnica.

Caracterização do uso e cobertura da terra da área mapeada e fornecimento de subsídios para outras atividades e pesquisas que a envolvam.

Como objetivo secundário, está previsto uma estimativa dos custos do mapeamento e comparação com um realizado através de fotografias aéreas verticais convencionais ou por imagens de satélite.

A precisão geométrica atingida pelo mosaicamento com georreferenciamento e correção geométrica, será avaliada de forma mais sistemática, com testes estatísticos e de diferentes métodos, o que não pode ser realizado durante a execução deste trabalho e merecem especial atenção conforme foi exposto anteriormente.

Deve, deste modo, servir de exemplo e incentivo de aplicação dos equipamentos desenvolvidos pelo Projeto A.R.A.R.A., além de levantar outras possibilidades de utilização na Geografia.

Entende-se, entretanto, que o presente trabalho foi útil para uma apresentação inicial do Projeto A.R.A.R.A. e caracterização dos tipos de dados gerados por este sistema sensor.

Os testes, mesmo sendo realizados sem os parâmetros básicos para a confecção de uma carta de uso e cobertura da terra mais precisa, tanto em relação às informações qualitativas (não foi possível realizar trabalho de campo), como quantitativas (não foram georreferenciadas e corrigidas geométricamente), mostraram que as imagens são plenamente compatíveis com os sistemas de informações geográficas (no caso, o *ILWIS*), sendo classificadas, tanto por classificação supervisonada, como não-supervisionada. As cartas demonstrativas apresentaram resultados satisfatórios, considerando-se as condições que foram impostas.

A partir da caracterização inicial do Projeto A.R.A.R.A. e dos testes de classificação, foi possível tecer algumas considerações acerca da aplicabilidade dos equipamentos ao estudo geográfico, o que serve de base para futuros trabalhos.

Embora a pesquisa esteja em fase inicial, e o Projeto A.R.A.R.A. ainda em desenvolvimento, pode-se afirmar que, considerando-se que o custo para a obtenção das imagens é menor do que de fotografias aéreas convencionais e imagens orbitais, e que o Brasil apresenta um dos piores níveis de mapeamento, esta nova tecnologia apresenta grande potencial de uso principalmente em pequenas áreas e fins que não exijam grande precisão geométrica. Trabalhos que necessitem de flexibilidade na aquisição de imagens, como registro de processos e fenômenos de rápido desenvolvimento, podem ser beneficiados também.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, E.E.R. de A organização espacial do setor metropolitano de São Paulo. **B. Geogr..** Rio de Janeiro, 36(256): 5-73, jan./mar., 1978.

CRÓSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas-SP, IG/UNICAMP, 1992-3.

JORGE L. A. de C. **Determinação da cobertura do solo em fotografias aéreas do Projeto ARARA** (Dissertação de Mestrado em Ciências de Computação e Matemática Computacional). São Carlos. USP, Dezembro de 2001.

ILWIS 3.0 APPLICATION – Manual do software.

LOCH C. e LAPOLLI E. M. **Elementos básicos da fotogrametria e sua utlização prática** . Florianópis. Editora da UFSC, 1998.

MARCHETTI, D.A.B.; GARCIA, G.J. **Princípios de fotogrametria e fotointerpretação**. São Paulo. Livraria Nobel, 1977.

RAFFO, J. G. da G. Retificação virtual de fotografias de pequeno formato e sua aplicação para vôos aerofotográficos (Tese de Doutorado em Geografia Humana), São Paulo. USP, 2000.

RIBEIRO, R.E. **Um Sitema de Telemetria e Telecomando de Aeronaves de Aeronaves do Projeto A.R.A.R.A**.(Dissertação de Mestrado defendida no ICMC-USP), São Carlos-SP, maio de 2000.

SANTOS, A. P.; Niero, M.;LOMBARDO, M. A. Interpretação de dados de Sensoriamento Remoto no uso da terra. In: PARADA, N. J. **Curso de treinamento: introdução às técnicas de sensoriamento remoto e aplicações**. São José dos Campos, INPE, pp. VIII 1 – VIII – 36, cap. 8(INPE-COM.2/MD), 1980.

SANTOS R. B. dos. Geração Automática de Mosaicos de Fotos Aéreas no Projeto ARARA. (Dissertação de Mestrado em Ciência da Computação) São Carlos. USP, 2004.

SOUZA N. P. **Sistemas Alternativos para Obtenção de Imagem Aérea e sua Aplicação na Agricultura** (Dissertação de Mestrado em Ciências de Computação e Matemática Computacional). São Carlos. USP, Março de 1999.

TEIXEIRA A. L. A.; CHRISTOFOLETTI A. **DICIONÁRIO DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA** Ed. Hucitec. São Paulo, 1997.